

GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ZAMORA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN Y AGRONOMÍA

ÁREA DE TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO



VNiVERSiDAD
DSALAMANCA

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

**ELABORACIÓN DE SALCHICHAS DE FRANKFURT
USANDO GERMEN DE TRIGO COMO SUSTITUTO DE LA
CARNE**

ALUMNO: PABLO RODRIGO DE LA IGLESIA

TUTOR: ISABEL REVILLA MARTÍN

COTUTOR: MARTA RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ

FECHA DE ADJUDICACIÓN: OCTUBRE DE 2023

FECHA DE PRESENTACIÓN: SEPTIEMBRE DE 2024

1.- Abstract

Wheat germ is a by-product of cereal industry with interesting nutritional properties, including its high protein content. However, few applications have been found in the meat industry until now. For that reason and due to the growing interest in the use of vegetable proteins to reduce meat consumption, they were used for the production of frankfurters. A control frankfurter was formulated along with four preparations with progressive replacement of lean pork in proportions of 25%, 50%, 75% and 100%. Proximal composition, color, texture, emulsion characterization, fatty acid profile and a sensory analysis were then analysed. The results of these determinations showed that the incorporation of wheat germ improved the stability of the emulsion and decreased the jelly and fat separation, although the batters were much more cohesive. As for the final product, progressive incorporation of wheat germ caused significant increases in fiber, carbohydrates and starch, as well as statistically significant decreases in moisture, fat, protein and ash. Frankfurters made with germ were also darker and yellowish, but less reddish, as well as harder, more gummy and chewier, but less cohesive and elastic. Likewise, substitution with wheat germ improved the quality of the lipid profile, but decreased acceptability. Replacing meat with wheat germ was only viable up to 25%, where there were hardly any significant differences with the control.

2.- Introducción

La carne se caracteriza por presentar un alto contenido en macronutrientes, principalmente proteínas, y micronutrientes, entre los que destacan la vitamina B₁₂, el zinc y el hierro (Godfray et al., 2018). Está previsto que al menos hasta 2050 el consumo cárnico se vea incrementado en todo el mundo (Desiere et al., 2018) y cabe destacar que en los últimos años el mayor porcentaje de carne consumida procede de ave y cerdo, la primera debido a su más fácil acceso económico y a percibirse más saludable y la segunda a la gran demanda por los países asiáticos (Parlasca & Qaim, 2022).

Sin embargo, está demostrado que producir carne lleva un gran coste asociado: el gran impacto ambiental que contribuye al cambio climático (Hedenus et al., 2014), pues se estima que el sector ganadero supone el 15 % anual de los gases de efecto invernadero antropogénicos emitidos globalmente (Graham & Abrahamse, 2017). Si a eso se suman las labores agrícolas que proporcionan la alimentación al ganado, las cuales necesitan el empleo de pesticidas que generan impactos ambientales tales como la pérdida y destrucción de la biodiversidad causada por pesticidas (Khan et al., 2023) o el hecho de que la agricultura es el sector con mayor consumo hídrico en el mundo (Mekonnen & Gerbens-Leenes, 2020) resulta una situación compleja en un futuro no muy lejano. Otro problema asociado según estudios científicos es una correlación probable entre la aparición de cáncer colorrectal y el consumo de carnes rojas (Geiker

et al., 2021), así como con el desarrollo de enfermedades, especialmente cardiovasculares y diabetes tipo 2 (Ekmekcioglu et al., 2018).

En los últimos años están emergiendo nuevas posibilidades para la sustitución de las proteínas de origen animal convencionales. Entre ellas están los insectos debido a sus excelentes propiedades nutricionales y su bajo impacto ambiental (Van Huis, 2013). Otra posibilidad más novedosa es la conocida como carne cultivada, consistente en la síntesis de carne a través de células madre con capacidad para diferenciarse en células de tejido muscular (Bhat et al., 2015) la cual permitiría disminuir el impacto medioambiental, aumentar el bienestar animal y disminuir los riesgos en términos de seguridad alimentaria (Reis et al., 2020). Sin embargo, la opción que ofrece un mayor abanico de posibilidades son las proteínas de origen vegetal. Por un lado, destacan los texturizados de proteína vegetal (TVP), los cuales se obtienen principalmente a partir de harinas o generalmente de concentrados de soja (Hidayat et al., 2017) por medio de un proceso de extrusión en caliente, con los cuales se pueden obtener análogos cárnicos con texturas muy similares a las de la carne (Choton et al., 2020). Otra fuente de proteína son las setas, que aunque presentan un elevado contenido de humedad, la cual repercute en que el contenido en proteína expresado en base húmeda resulte de apenas del 2-4 %, contienen entorno a un 30 % de proteína en base seca (García et al., 2014), hecho que las convierte en una alternativa interesante. No hay que olvidarse de los cereales, puesto que han visto incrementado el contenido proteico como consecuencia del perfeccionamiento y optimización productiva, con cantidades de proteína del 13-16 % en trigos duros para panificación o 15 % en ciertas variedades de arroz (Petrusán et al., 2016).

Asimismo, debido a que las industrias agroalimentarias de origen vegetal generan grandes cantidades de subproductos (Difonzo et al., 2023), los cuales en cierta proporción contienen compuestos bioactivos de interés así como carbohidratos y proteínas, su empleo para crear productos de valor agregado y aumentar la sostenibilidad cada vez suscita un mayor interés (Raşu et al., 2023). Un ejemplo de lo anteriormente comentado es el caso del germen de trigo, subproducto resultante de la molturación del trigo y que constituye aproximadamente el 2-3 % del grano entero (Ghafoor et al., 2017). El germen contiene por un lado el escutelo, el cual es un órgano de almacenamiento y por otro lado el embrión, que supone el componente mayoritario del germen una vez se separa en la molienda del grano (Boukid et al., 2018). Presenta una composición nutricional muy interesante, pues posee en torno a 25 % de proteínas, 18 % de azúcares, 20 % de almidón y 10-15 % de aceite especialmente localizado en el escutelo (Ghafoor et al., 2017). También se caracteriza por tener cantidades considerables de magnesio, zinc, fósforo y vitamina E (Shewry et al., 2006; Shewry & Jones, 2005; Shewry, 2009). En cuanto a su fracción lipídica, se caracteriza por estar compuesta mayoritariamente por ácidos grasos mono y poliinsaturados. Sin embargo, y debido a la presencia de lipasas, se originan oxidaciones lipídicas (Gili et al., 2017)

produciéndose el enranciamiento en cortos periodos de tiempo, lo que se traduce en que el germen presente una escasa capacidad de conservación y por ello generalmente su mayor uso ha sido destinado a la alimentación animal (Ge et al., 2000). Para evitar este frecuente problema, se ha logrado inactivar las enzimas lipolíticas mediante técnicas de estabilización (Liu et al., 2024) que pueden ser físicas, químicas o biológicas (Boukid et al., 2018), siendo la extrusión una de las técnicas con mayor capacidad de inactivación de las lipasas (Liu et al., 2024). Más allá de su aprovechamiento zootécnico recientemente se han encontrado distintos aprovechamientos del germen de trigo en alimentación. Así, se ha empleado como fortificante en elaboración de galletas (Youssef, 2015), en pasteles ricos en minerales (Petrović et al., 2017), en bebidas funcionales fermentadas (Mueller & Voigt, 2011) o como sustitutivo del café debido a sus similares características sensoriales (Fadel et al., 2008).

Las salchichas Frankfurt son un tipo de embutido cocido y curado (Güngör & Gökoğlu, 2010) con un alto consumo debido a fácil preparación, su versatilidad y sus propiedades organolépticas (Polizer Rocha et al., 2018). Se caracterizan por contener entre un 20-30 % de grasa (Bis-Souza et al., 2019), motivo por el cual las convierte en un alimento propenso a la oxidación lipídica (Isaza et al., 2011). Hoy día, las tendencias alimentarias actuales cada vez van más enfocadas hacia alimentos menos calóricos y bajos en grasas (Lee et al., 2015). Teniendo en cuenta, además, que las proteínas de origen vegetal presentan menor contenido en colesterol y suponen un menor coste, ha permitido la aparición de análogos de proteínas cárnicas (Carvalho et al., 2019; Marti-Quijal et al., 2019; Zamuz et al., 2019) con posibilidad de empleo en la elaboración de salchichas. En los últimos años, se ha logrado manufacturar salchichas Frankfurt con harinas de linaza y avena en sustitución de la carne (Corrêa et al., 2023), salchichas bajas en grasa y con sustitución cárnica con proteína texturizada de guisante (Revilla et al., 2022) e incluso se han empleado macroalgas para fortificar salchichas Frankfurt (Marçal et al., 2021). El empleo del germen de trigo en la industria cárnica es bastante limitado, pues los desarrollos en los que se ha empleado han sido: en forma de aceite para sustituir las grasas de origen animal en hamburguesas, (Barros et al., 2021), en salchichas en cantidades del 4 % con cantidades ascendentes de grasa (Serdaroğlu & Özsümer, 2003) o en salchichas como sustitutivo de la carne en proporciones del 10 % y 15 % (Elbakheet et al., 2018). Por ello, a pesar de que los antecedentes del uso del germen hayan sido mayoritariamente con salchichas y en algún caso como sustituto cárnico, no se tiene constancia de que se haya empleado como fuente principal de proteína hasta una sustitución completa en salchichas tipo Frankfurt.

En base a lo dispuesto con anterioridad, este trabajo tiene por objetivo evaluar el efecto de la sustitución progresiva y completa del magro de cerdo por germen de trigo así como su viabilidad bajo el punto de vista sensorial, de la estabilidad de la emulsión y de la calidad físico-química.

3.-Materiales y métodos

3.1.- Proceso de elaboración

Para la preparación de las elaboraciones se preestablecieron las formulaciones que compondrían los diferentes lotes de salchichas, para los cuales se elaboraron 3 Kg de cada uno y se repitió el proceso de elaboración, dando lugar a dos elaboraciones idénticas llevadas a cabo en fechas diferentes. Las formulaciones se reflejan en la tabla 1.

Tabla 1. Formulaciones expresadas en %.

Ingrediente	Composición %				
	Control	T-25	T-50	T-75	T-100
Magro de cerdo	40,00	30,00	20,00	10,00	0,00
Germen	0,00	10,00	20,00	30,00	40,00
Aceite oliva	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50
Hielo	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00
Polifosfatos	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Sal nitrada ¹	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
Fécula de patata	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Xantana/Garrofín	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Proteína de soja	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Ascorbato sódico	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Glucosa	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Lactato sódico	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Aromas ²	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Cebolla	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Ajo	0,40	0,40	0,40	0,400	0,4
Pimienta	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

T-25: Sustitución del 25% de carne por germen de trigo. T-50: Sustitución del 50% de carne por germen de trigo. T-75: Sustitución del 75% de carne por germen de trigo. T-100: Sustitución del 100% de carne por germen de trigo.¹ NaCl + 0,6% nitrito sódico. ²Aroma de humo + aroma de salchichas Frankfurt.

El primer lote elaborado se denominó “Lote Control” en el cual todo el aporte de grasa fue proporcionado por aceite de oliva. En el resto de lotes, denominados: “Lote T-25, T-50, T-75 y T-100, el contenido cárnico fue progresivamente sustituido por germen de trigo (Harina Tradicional Zamorana, Zamora,

España) en un 25 %, 50 %, 75 % y 100 % respectivamente. El germen fue molido previamente a su incorporación en las respectivas elaboraciones mediante un molinillo (Phillips, Daily Collection chopper, Países Bajos) para facilitar su homogeneización.

El magro de cerdo se adquirió de una carnicería local en óptimas condiciones higiénico-sanitarias y previamente al proceso de elaboración fue conservado en refrigeración a 2°C, lo cual es indispensable para mantener un intervalo de temperatura inferior a 10°C necesario para lograr una correcta emulsión. El aceite de oliva empleado (Carbonell, 0, 4º acidez, Córdoba, España) también se mantuvo a 2°C hasta el momento de la elaboración y fue pesado mediante una balanza de precisión $\pm 0,001$ g (Kern PLS 360-3, Balingen, Alemania). Sin embargo, el hielo (Frigoríficos Rivera, Madrid, España) junto con el magro y el germen se pesaron mediante báscula de precisión ± 5 g (Igarra, Valencia, España) y para los ingredientes restantes se utilizó una balanza analítica de precisión $\pm 0,0001$ g (Startorius BP 221 S, Gotinga, Alemania).

Para realizar la elaboración se empleó un cutter (TALSA T- 2473, Valencia, España) y se procedió a incorporar los ingredientes en cuatro etapas diferenciadas. En primer lugar, se incorporó la proteína de soja (Sancan S.L., Barcelona, España) y una tercera parte del hielo, todo ello picado a velocidad lenta buscando así la hidratación de la misma. En el caso de los lotes T-25, T-50, T-75 y T-100, en esta primera etapa se incorporó parte del germen para facilitar la homogeneización del mismo. En la siguiente etapa se incorporó a velocidad rápida el magro de cerdo, otro tercio de hielo, la sal nitrada y las polifosfatos (E-450i y E-451i, Proanda Proveedora Andaluza S.L, Sevilla, España) buscando así solubilizar las proteínas. La siguiente fase del proceso se realizó mezclando nuevamente a velocidad de picado rápido, el aceite de oliva y el hielo restante, obteniendo como resultado una fina pasta homogeneizada.

Finalmente en la última etapa se incorporó a velocidad lenta el resto de ingredientes: la fécula de patata (Sancan S.L., Barcelona, España), goma xantana/garrofín (E-415 , E-410 y E-1400, Premigum XME-54, Premium Indredients S.L., Murcia, España), ascorbato sódico (Sancan S.L., Barcelona, España), lactato sódico (Sancan S.L., Barcelona, España), glucosa (Sancan S.L., Barcelona, España), cebolla (Almacenes Lomar S.L, Cuenca, España), ajo (La vequilla S.L., Cuenca, España), pimienta negra (Conservas Dani, Barcelona, España), aroma de humo (Sancan S.L., Barcelona, España) y aroma para salchichas Frankfurt (Kasteel Iberoalimentaria S.A., Toledo, España).

Una vez finalizado el proceso de picado se procedió al embutido usando una embutidora de pistón (TALSA H262A, Valencia, España) y tripas artificiales de celulosa para salchichas de diámetro 22 mm (Viscofam, Pamplona, España). Tras el proceso de embutición se obtuvieron ristras de salchichas de una longitud aproximada de 14 cm. Acto seguido se procedió a su introducción en un horno de cocción (Eller

Unimatic Micro, Italia) donde fueron colgadas en barras de acero inoxidable y a una de ellas se le introdujo una sonda con el fin de controlar la temperatura del centro de la pieza y de este modo verificar el correcto funcionamiento del proceso de cocción. Dicho proceso constó de cuatro etapas diferentes: una primera etapa de 15 minutos de duración en la cual se comienzan secando las salchichas a 55°C. Tras su finalización comenzó la etapa de enrojecimiento a 60°C durante 15 minutos. Acto seguido se sucedió la etapa de cocción, en la cual se emplea una atmósfera de vapor a 75°C durante el tiempo necesario para alcanzar los 72°C en el centro-pieza, temperatura necesaria para que se cocinen ingredientes como la fécula de patata. El proceso concluye cuando tras alcanzar dicha temperatura las salchichas se refrigeran por medio de una ducha de agua fría hasta disminuir la temperatura del medio a valores próximos a 17-20°C.

Posteriormente, las salchichas fueron conservadas por refrigeración durante 24 horas a una temperatura de 4°C tras lo cual se retiró su tripa de celulosa y se procedió a envasarlas a vacío por lotes mediante una envasadora (Tecnotrip, EVT-7 2000, Barcelona, España) en bolsas de polietileno (Tecnotrip, Barcelona, España).

Una vez envasadas se pasteurizaron para asegurar su inocuidad debido a la manipulación previa y para ello, se sumergieron durante un periodo de tiempo de 45 minutos en un baño de agua (J.P.Selecta Precistern, Barcelona, España) a una temperatura de 75 °C. Una vez concluido el proceso se sacaron las salchichas del baño y se enfriaron mediante agua fría. Acto seguido se almacenaron en la nevera a temperaturas de refrigeración hasta su posterior apertura para realizar los análisis pertinentes.

3.2.-Ensayos de caracterización de la emulsión

3.2.1.- Extrusión inversa de la emulsión en frío

El procedimiento seguido para esta determinación fue el establecido por Liu y Hsieh (2007) para lo cual se empleó masa recién salida del cutter y se llenó en unos recipientes especiales para este ensayo, las células de extrusión inversa. Se rellenaron 3 por lote y se tomó especial precaución de que la cantidad y altura de llenado fuera lo más similar posible, además de que no quedara aire ocluido en la masa.

Una vez rellenas las células se llevaron al texturómetro (Texture Analyzer TA-XT2i, Stable Micro Systems, Godalming, Inglaterra) en el cual se montó una sonda de compresión de 40 mm de diámetro. La distancia necesaria de compresión se calculó como un 20 % de la altura de llenado en la célula de extrusión inversa, lo cual, al llenarse 5 cm, la distancia resultó 1 cm. Otro parámetro necesario es la velocidad de bajada de la sonda, que fue de 1mm/s, así como la fuerza mínima para comenzar el ensayo, que fue de 10 g. Una vez configurados los parámetros se realizaron tres réplicas por lote y se midió: la

fuerza captada en el punto de inflexión de la gráfica, la distancia correspondiente al momento donde se alcanza dicha fuerza y el área bajo la curva.

3.2.2.-Estabilidad de la emulsión

El procedimiento y los cálculos realizados en este análisis se realizaron según lo descrito por Hughes et al. (1997). En primer lugar se comenzó pesando pensando 25 g de la masa recién salida del cutter en balanza analítica de precisión $\pm 0,0001$ g y se repartieron en 5 tubos de centrífuga. Se introdujeron en centrífuga (SIGMA 4K15C, Osterode am Harz, Alemania) durante 1 minuto a una velocidad de 3600 rpm. Concluido el proceso, los tubos se introdujeron en un baño de agua (J.P.Selecta Precistern, Barcelona, España) durante 30 minutos a 70°C. Una vez transcurrido, se centrifugaron de nuevo a la misma velocidad pero durante 3 minutos y acto seguido, se retiró por medio de una pipeta el sobrenadante de cada tubo, el cual se vertió en unas cápsulas de metal (AISI30 J.P.Selecta, Barcelona, España) secadas y pesadas con anterioridad. Después, se pesaron los tubos y las cápsulas con el sobrenadante se secaron en estufa (Raypa DO-50, Barcelona, España) durante 12 horas a 100°C y una vez pasado el tiempo se pesaron en balanza analítica de precisión $\pm 0,0001$ g.

A partir de los valores obtenidos en diferentes pesadas se procedió a calcular el volumen de fluido separado (TEF) y la grasa de cada muestra.

$$TEF = \text{Peso muestra y tubo}(g) - \text{Peso muestra sin sobrenadante y tubo}(g)$$

Ecuación 1. Cálculo de volumen de fluido separado.

$$TEF (\%) = \frac{TEF}{\text{Peso muestra}(g) * 100}$$

Ecuación 2. Cálculo de volumen de fluido separado expresado en porcentaje.

$$\text{Grasa} (\%) = \frac{\text{Peso cápsula y sobrenadante seco}(g) - \text{Peso cápsula vacía}(g)}{TEF * 100}$$

Ecuación 3. Cálculo de la grasa perdida en el fluido separado expresada en porcentaje.

3.2.3.-Separación grasa/gelatina

El procedimiento seguido fue el establecido por los autores Bloukas y Honikel (1992). Se comenzó llenando con la masa recién picada de cada lote tres latas de conserva de aluminio de dimensiones 73 x 58 mm, se pesó el contenido introducido mediante la balanza de precisión $\pm 0,001$ g y se cerraron mediante un cerrador manual (JK Somme S1, Bilbao, España). Acto seguido, las latas se llevaron a un

baño de agua 35 minutos a 90°C y, una vez concluido el proceso, se refrigeraron mediante agua fría y se introdujeron en la nevera durante 24 horas a 4°C. Transcurrido el tiempo se introdujeron nuevamente en un baño de agua, en esta ocasión durante 60 minutos a 45°C. Finalmente se procedió a abrir las latas y a recoger el líquido exudado durante los procesos de calentamiento por medio de una pipeta, donde a partir del volumen recogido se expresa el resultado en base al peso inicial de cada lata.

$$\text{Separación grasa/gelatina (\%)} = \frac{\text{Volumen exudado (ml)} * 100}{\text{Peso muestra (g)}}$$

Ecuación 4. Cálculo de separación grasa-gelatina

3.3.-Ensayos físico-químicos

3.3.1.-Composición proximal

Los ensayos se realizaron según lo descrito por la Asociación Oficial de Métodos Analíticos Químicos (AOAC, 1990).

Para la determinación del contenido de grasa se empleó el método Soxhlet empleando éter de petróleo como disolvente (AOAC 985.15). El contenido de proteínas se realizó por el método Kjeldahl, donde se empleó como factor de conversión de proteína bruta 6,25 (AOAC 992.15). En cuanto al cálculo de la humedad, se llevó a cabo por el método gravimétrico por desecación en horno de aire (Raypa DO-50, España) a 103°C (AOAC 950.46). Las cenizas se determinaron mediante incineración en horno mufla (Hobersal ,12 PR/400 serie 8B, Barcelona, España) a 550 ° C (AOAC 920.153).

La determinación del contenido en almidón fue llevada a cabo siguiendo el método enzimático (AOAC 996.11) y para la fibra se empleó un analizador ANKOM (ANKOM technology, Nueva York, Estados Unidos) (AOAC 991.43).

Los hidratos de carbono totales se hallaron por diferencia, empleando para ello la siguiente fórmula:

$$\text{Hidratos de carbono totales (\%)} = (100 - \text{Humedad} - \text{Proteína} - \text{Grasa} - \text{Fibra} - \text{Cenizas})$$

Ecuación 5. Cálculo de hidratos de carbono.

3.3.2.-Color

Para el desarrollo de este ensayo se procedió a realizar un corte longitudinal a dos salchichas de cada lote en las cuales se midieron los parámetros CIELAB descritos por Robertson (1977); L* (luminosidad), a*(color rojo) y b*(color amarillo). Se realizaron un total de diez mediciones por lote, de las cuales cinco fueron en cada réplica. Se empleó un colorímetro (MiniScan EZ 45/0) el cual estaba equipado con un

cabezal de medición de 25 mm y se emplearon condiciones normales de observación a través del iluminante D₆₅ y un observador de 10°.

3.3.3.-Análisis de textura

Para la realización de este ensayo, en primer lugar se calentaron las salchichas en un baño de agua durante 15 minutos a 70°C y posteriormente se cortaron en rodajas de 1 cm de grosor evitando las partes deformes y de los extremos. Se realizaron 10 réplicas por lote y permanecieron sumergidas hasta el momento de la medición.

Para el TPA, se equipó al texturómetro con una sonda de diámetro 50 mm y se procedió a realizar un ensayo consistente en dos compresiones de forma consecutiva para las cuales se preestablecieron las siguientes condiciones de trabajo: velocidades de pre-ensayo, ensayo y post-ensayo de 1 mm/s, distancia de compresión de 5 mm, fuerza de 5 g y tiempo de espera igual a 5 s.

Con dicha configuración se realizaron las mediciones de las muestras logrando así, calcular los parámetros de adhesividad (g.mm), cohesividad, dureza (g), elasticidad (mm), gomosidad(g) y masticabilidad (g/mm).

3.3.4.-Perfil de ácidos grasos

La extracción de los lípidos se desarrolló siguiendo el método establecido por Folch et al. (1957). La determinación de la composición de ácidos grasos se realizó de acuerdo con el siguiente método. Para la metilación de los ácidos grasos, se pesaron 100 mg de lípidos en balanza analítica de precisión $\pm 0,0001$ g y se añadieron 800 μ l MeOH/H₂SO₄ 15:1 en un tubo de centrifuga, se llevó a baño de agua a 100 °C durante 1 hora, se enfrió y se centrifugó a 3750 g, 5 °C, 10 minutos tras previa adición de 2 ml de agua y 1 ml de hexano. Se aisló la capa superior mediante algodón y sulfato de sodio anhidro sobre viales y se congelaron hasta su respectivo análisis.

Posteriormente se procedió a analizarlos mediante cromatografía gaseosa mediante un cromatógrafo (GC 6890 N, Agilent Technologies, Santa Clara, Estados Unidos) dispuesto de una columna capilar de 100 m x 0,25 mm x 0,20 μ m (SP -2380, Supelco Inc., Bellefonte, Estados Unidos). Se inyectó 1 μ L de muestra en el cromatógrafo, el cual estaba dispuesto con un detector FID y un inyector Split los cuales se configuraron a una temperatura de 250°C. Se empleó un modo de inyección split (75:1) y como gas portador, el helio a 1,3 mL/min. El programa de trabajo empleado se basó en comenzar manteniendo 100°C durante 6 minutos, a continuación subir hasta 200°C a razón de 25°C/min y mantener la temperatura 8 minutos, posteriormente subir a 220°C a 5°C/min, después 230°C a 0,5°C/min y finalizar

alcanzando 250°C a razón de 4°C/min. Toda esta configuración resulta en un tiempo total de 47 minutos para cada muestra.

La identificación de cada ácido graso se llevó a cabo utilizando una mezcla estándar cuantitativa externa (FAME Mix 37 components C4-C24, Supelco Inc., Bellefonte, Estados Unidos) adicionada con metil cis-7,10,13, 16-docosatetraenoato (C22 :4) y metil cis-7,10,13, 16, 19-docosapentaenoato (C22:5) (Supelco Inc., Bellefonte, Estados Unidos). Se empleó nonadecanoato de metilo (C19:0) (Supelco Inc., Bellefonte, Estados Unidos) como estándar interno y la cuantificación se realizó empleando el área de los picos del cromatograma, expresándose los resultados en g por 100 g de ésteres metílicos de ácidos grasos totales.

3.3.5.-Análisis sensorial

Los lotes de salchichas se analizaron sensorialmente mediante una prueba hedónica. Se dispuso de un grupo de 37 panelistas no entrenados a los cuales se le proporcionaron muestras de cada lote codificadas con un número de tres cifras, las cuales fueron cocinadas al gusto de cada consumidor. También se les proporcionó una hoja de catas la cual contenía una escala hedónica de 9 puntos de mayor a menor aceptación: “Me gusta muchísimo (9)”, “Me gusta mucho (8)”, “Me gusta (7)”, “Me gusta ligeramente (6)”, “Ni me disgusta ni me gusta (5)”, “Me disgusta ligeramente (4)”, “Me disgusta (3)”, “Me disgusta mucho (2)” y “Me disgusta muchísimo (1)”. Una vez concluidas las catas, se recopilaron los datos obtenidos y se procedió a su análisis estadístico e interpretación.

3.3.6.-Análisis estadístico

Para determinar si existieron diferencias significativas en los valores obtenidos en cada muestra se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) mediante el software IBM SPSS Statistics 22. Se consideró una significación de 0,05, se realizó un análisis post hoc empleando la prueba Tuckey-b con el objetivo de analizar las diferencias por parejas y se ejecutó un estadístico descriptivo para obtener parámetros de interés como desviaciones estándar.

4.- Resultados y discusión

4.1.-Caracterización de la emulsión

Los resultados de los diferentes análisis respectivos a la caracterización de la emulsión se reflejan en la tabla 2.

Tabla 2. Medias (+ SD) de los parámetros de caracterización de la emulsión.

	Control	T-25	T-50	T-75	T-100
Fuerza ext.¹	3,80±0,78 ^a	5,56±0,59 ^a	9,61±2,24 ^{ab}	17,48±7,20 ^b	32,18±15,25 ^c
Área ext.²	28,70±5,67 ^a	20,82±12,13 ^a	21,55±12,76 ^a	67,79±43,74 ^a	134,97±89,16 ^b
TEF³	4,14±0,75 ^b	3,92±1,53 ^b	2,55±0,81 ^a	1,24±1,27 ^a	1,41±0,54 ^a
% grasa⁴	2,92±1,68 ^b	3,27±0,99 ^b	6,32±2,14 ^c	0,51±0,62 ^a	6,56±0,67 ^c
Separación g/g⁵	0,193±0,13 ^b	0,074±0,07 ^a	0,013±0,01 ^a	0,005±0,01 ^a	0,003±0,01 ^a

La presencia de diferentes letras ^{a,b,c} indica la existencia de diferencias significativas considerando $\alpha=0,05$. ¹ Fuerza de la extrusión inversa expresada en N. ² Área de la extrusión inversa expresada en N.s. ³ Volumen del fluido separado expresado en %. ⁴ Grasa perdida en el fluido separado expresada en %. ⁵ Separación grasa/gelatina expresada en %.

Tanto para la fuerza como para el área obtenida durante la extrusión inversa de la emulsión en frío, se puede apreciar un aumento significativo de sus valores con la incorporación de germen de trigo, pese a que en la fuerza no existieron diferencias significativas entre las elaboraciones con 50 % y 75 % de sustitución y entre la elaboración control y las elaboraciones con 25 % y 50 % y en el área, no hubo diferencias significativas entre el control y las elaboraciones hasta un 75 % de germen incorporado. El motivo del incremento de estos parámetros puede deberse a que el uso de harina de legumbres como aglutinante aumenta la viscosidad en masas crudas (Thushan Sanjeeva et al., 2010), hecho que se pudo apreciar durante la preparación de las distintas elaboraciones a medida que se incrementaba la proporción de germen de trigo.

En cuanto a los parámetros de estabilidad de la emulsión, si bien se observó un descenso significativo en el volumen de fluido separado (TEF) y un ascenso significativo en la grasa liberada en fluido separado, en ambos casos no existieron diferencias entre la elaboración control y la de 25 % de germen incorporado y por un lado, en el TEF tampoco existieron entre las elaboraciones con 50 %, 75 % y 100% y en la grasa liberada entre las elaboraciones 50 % y 100% donde la elaboración con 75 % pareció resultar un valor anómalo por su repentino descenso. La mejora de la estabilidad de la emulsión con la incorporación de germen de trigo se debe probablemente a la excelente capacidad de retención de agua que presentan las proteínas del germen de trigo como consecuencia de la facilidad que presentan los grupos polares de sus polipéptidos a formar enlaces de hidrógeno con el agua (Jones & Tung, 1983). Finalmente, la sustitución de magro de cerdo por germen de trigo además causó una reducción significativa de la separación grasa/gelatina que fue mayor a medida que aumentó el porcentaje de

germen, aunque no existieron diferencias entre las elaboraciones que lo incorporaron, ya que los valores en todos ellas fueron muy pequeños. Esta tendencia puede justificarse teniendo en cuenta que Flores et al. (2007) describieron que este parámetro disminuye cuando se emplean aislados de proteína de soja como emulsionante en carne de cerdo y Ahmedna et al. (1999) afirmaron que los aislados de proteína de trigo solubilizado presentan unas propiedades emulsionantes similares a los de soja.

Las proteínas y el almidón absorben el agua formando matrices de gel que al calentarse y en presencia de proteínas cárnicas pueden formar una compleja red de gel tridimensional en la que intervienen diversas fuerzas, como las de van der Waals, electrostáticas y de enlace de hidrógeno, que atrapa las partículas finas de carne emulsionada lo que mejora todos los parámetros relacionados con la estabilidad de la emulsión (Thushan Sanjeeva et al., 2010).

Los resultados de este trabajo fueron similares a los observados por otros autores que incorporaron gluten en las formulaciones. Así Serdaroğlu y Özsümer (2003) y Kamani et al. (2019) encontraron que el TEF disminuyó significativamente frente al control. También existieron semejanzas en los resultados de separación de grasa y gelatina de Kamani et al. (2019) a resultar una reducción significativa. Sin embargo, cuando se comparan con los resultados de Revilla et al. (2022) se observa una tendencia opuesta en la fuerza de extrusión inversa, que tendió a disminuir significativamente, y en los parámetros TEF y % de grasa en el TEF que tendieron a aumentar, debido a que en ese caso se usaron proteínas de guisante, que no contenía almidón ni fibra, con lo cual se muestra la relevancia de estos componentes para la estabilidad de la emulsión.

4.2-Composición proximal

Se muestra a continuación los resultados procedentes de la determinación de la composición proximal de los diferentes lotes elaborados, la cual fue expresada en materia húmeda.

Tabla 3. Medias (+ SD) de los parámetros de composición proximal expresados g/100 g materia húmeda.

	Germen	Control	T-25	T-50	T-75	T-100
Humedad	8,37±0,18	61,88±3,20 ^c	56,86±4,20 ^c	48,67±2,59 ^b	45,47±3,94 ^{ab}	39,87±5,98 ^a
Grasa	7,64±0,13	12,26±1,53 ^b	9,21±1,43 ^a	8,96±1,12 ^a	8,09±0,85 ^a	7,92±1,00 ^a
Proteína	25,75±0,21	11,51±0,84 ^a	10,90±1,15 ^a	12,20±0,95 ^a	12,11±3,26 ^a	13,27±1,34 ^a
Cenizas	4,30±0,03	3,29±0,35 ^a	3,39±0,35 ^a	3,60±0,16 ^a	3,93±0,18 ^a	4,70±0,68 ^b
Fibra	24,90±0,85	2,23±0,95 ^a	3,70±0,29 ^a	6,25±1,67 ^b	7,45±1,65 ^{bc}	9,63±1,64 ^c

	Germen	Control	T-25	T-50	T-75	T-100
H.carbono	29,05±0,92	8,53±0,27 ^a	15,94±1,66 ^b	20,07±1,11 ^{bc}	21,96±2,78 ^{bc}	24,61±3,56 ^c
Almidón³	17,45±0,35	3,29±0,37 ^a	5,04±0,24 ^b	6,68±0,02 ^c	7,75±0,63 ^d	9,89±0,15 ^e

³El contenido de almidón se expresó con respecto a los hidratos de carbono. La presencia de diferentes letras ^{a,b,c,d,e} indica la existencia de diferencias significativas considerando $\alpha=0,05$.

Los resultados del contenido de humedad mostraron cómo la sustitución de magro de cerdo por germen de trigo disminuyó significativamente el contenido pese a no existir diferencias estadísticamente significativas entre la elaboración control y 25 % de sustitución y entre la elaboración con 75 % y las elaboraciones con 50 % y 100 %. Este hecho fue debido a que el germen de trigo apenas alcanza el 9 % de humedad como se observa en la Tabla 3. Puesto que, por este motivo, la sustitución de magro de cerdo por germen de trigo provocó una fuerte influencia en el descenso en la humedad, se decidió realizar los cálculos de la composición proximal en base seca (Tabla 4) para así poder determinar la tendencia real seguida por los diferentes parámetros.

Tabla 4. Medias (+ SD) de los parámetros de composición proximal expresados g/100 g materia seca.

	Control	T-25	T-50	T-75	T-100
Grasa	32,10±1,96 ^d	21,30±2,18 ^c	17,42±1,63 ^b	14,80±0,87 ^a	13,13±0,86 ^a
Proteína	30,22±0,66 ^b	25,25±1,17 ^a	23,73±1,03 ^a	22,07±5,34 ^a	22,03±0,92 ^a
Cenizas	8,65±0,15 ^b	7,85±0,09 ^{ab}	7,02±0,02 ^a	7,22±0,11 ^a	7,82±1,05 ^{ab}
Fibra	5,73±2,11 ^a	8,63±1,06 ^{ab}	12,26±3,68 ^{bc}	13,82±3,78 ^{bc}	16,19±3,80 ^c
H.carbono	22,46±1,71 ^a	36,97±0,31 ^b	39,09±0,20 ^b	40,18±2,34 ^b	40,82±2,56 ^b
Almidón	8,61±0,22 ^a	11,71±0,61 ^b	13,03±0,56 ^{bc}	14,29±1,93 ^c	16,50±1,08 ^d

La presencia de diferentes letras ^{a,b,c,d} indica la existencia de diferencias significativas considerando $\alpha=0,05$.

En cuanto al contenido de grasa, se observa cómo la incorporación de germen de trigo provocó que todas las elaboraciones presentaran cantidades más bajas, si bien en base húmeda fueron estadísticamente significativas con respecto al control, pero no entre las elaboraciones con germen y en base seca como se observa en la Tabla 4, con diferencias significativas hasta la elaboración con sustitución del 75 %, la cual no mostró diferencias con respecto la elaboración con 100 % de sustitución. La reducción observada en ambas situaciones se debió el bajo contenido en grasa que presenta el germen de trigo respecto al magro de cerdo.

Con respecto al contenido en proteína, la sustitución progresiva de germen de trigo por magro de cerdo no causó diferencias significativas. No obstante, los valores tendieron a aumentar ligeramente. El motivo del leve aumento fue por el destacable contenido proteico que caracteriza al germen de trigo (Tabla 3). De igual manera, el análisis del contenido en cenizas reveló que la incorporación hasta un 75 % de germen de trigo no produjo diferencias significativas con respecto a grados inferiores de sustitución y con el control, y cuando la sustitución se incrementó hasta llegar al 100 %, aumentó significativamente. Esta tendencia se debió a que la cantidad de cenizas que contiene en el germen de trigo son ligeramente superiores a las del magro de cerdo.

La proteína expresada en base seca realmente tendió a disminuir con cada nivel de sustitución, a pesar de no existir diferencias significativas entre los diferentes grados de sustitución cárnica pero sí con respecto al control. A pesar del alto contenido en proteína que presenta el germen, esta tendencia es debida a que como la suma de los principales parámetros de composición proximal deben sumar un 100 %, al estar en base seca no se tiene en cuenta la humedad y la fibra e hidratos de carbono, cobran mucho más protagonismo que la proteína. Con respecto al contenido en cenizas expresado en materia seca, se observa como realmente pese a que la sustitución cárnica en las diferentes elaboraciones no causó diferencias significativas y la tendencia de los valores osciló ligeramente, donde las elaboraciones con sustitución del 50 % y 75 % presentaron cantidades significativamente más bajas que la elaboración control.

La incorporación de germen de trigo causó un incremento significativo en la fibra expresada tanto en base húmeda como en base seca. Si bien en base húmeda hasta un 25 % de sustitución no provocó diferencias significativas con respecto a la elaboración control, a medida que el grado de sustitución se incrementó tendió a aumentar significativamente a pesar de no existir diferencias significativas en la elaboración con 75 % de germen con respecto a las elaboraciones con 50 % y 100%. En base seca el aumento significativo ocurrió entre la elaboración control y las elaboraciones con grados de sustitución superiores al 25 %, siendo la elaboración con sustitución del 100 % y sustitución del 25% también significativamente diferentes entre sí. Es decir, no existieron diferencias significativas entre las elaboraciones con 50 %, 75 % y 100% germen y entre la elaboración control y con 25%. Estas tendencias se ven claramente influenciadas por la importante cantidad de fibra que presenta el germen en su composición (Tabla 3).

Analizando los hidratos de carbono se observa cómo aumentaron con la introducción de germen de trigo. En base húmeda aumentó significativamente conforme el contenido de germen ascendió, si bien no se apreciaron diferencias significativas entre las elaboraciones con sustitución del 25 %, 50 % y 75 %, de

modo que sólo hubo diferencias significativas entre las elaboraciones control, 25% y 100 % de sustitución. En base seca, se pudo observar más claramente que la incorporación de germen de trigo causó un aumento significativo entre la elaboración control y las elaboraciones con sustitución cárnica, si bien estas últimas no presentaron diferencias significativas entre sí. Estas tendencias al aumento se fundamentan en el hecho de que el macronutriente mayoritario del germen de trigo son los hidratos de carbono como se puede observar en la Tabla 3.

El contenido de almidón se vio incrementado significativamente con la sustitución de magro de cerdo por germen de trigo en los valores expresados en base húmeda. En base seca, si bien también aumentó significativamente, la elaboración con 50 % de sustitución no presentó diferencias significativas con respecto a las de 25 % y 75 %. El incremento mostrado en ambas situaciones se justifica con la gran proporción de almidón que presenta el germen de trigo respecto a sus carbohidratos totales (Tabla 3).

Comparando los resultados en base húmeda con otros trabajos previos se observó al igual que aquí que, la incorporación de germen de trigo a las elaboraciones de salchichas en porcentajes de hasta el 20% se produce una disminución significativa de la humedad (Elbakheet et al., 2018; Gnanasambandam & Zayas, 1994; El Sayed et al., 2018) incluso cuando se incorpora agua extra en la formulación. Mientras que Gnanasambandam y Zayas (1994), los autores de los dos primeros trabajos, también encontraron un descenso significativo de la grasa en el cual, Gnanasambandam y Zayas (1994) lo atribuyeron al aumento de la dilución de las formulaciones, Elbakheet et al. (2018) indicaron un aumento significativo como consecuencia del mayor contenido de grasa del germen con respecto a la carne de vaca.

Por otro lado, El Sayed et al. (2018) y Elbakheet et al. (2018) mostraron que la incorporación del germen de trigo provocó un aumento significativo del contenido de proteína, ceniza y fibra, que atribuyeron a la gran cantidad que presenta el germen de trigo. Sin embargo, Gnanasambandam y Zayas (1994) encontraron que la incorporación hasta el 7 % de germen y el aumento de agua a las formulaciones apenas modificó la cantidad de proteína.

En el contenido de carbohidratos existieron discordancias en comparación con estos trabajos, pues tanto los resultados de Elbakheet et al. (2018) como de El Sayed et al. (2018) reflejaron un descenso significativo debido a que los otros parámetros de composición proximal tendieron a aumentar, lo que se traduce en un descenso de los hidratos de carbono, ya que estos autores los calcularon por diferencia con respecto a la humedad, ceniza, grasa y proteína.

4.3.-Color y textura

Los resultados de la determinación del color y del análisis del perfil de textura se ven reflejados en la tabla 5.

Tabla 5. Medias (+ SD) de los parámetros de color y textura instrumental.

	Control	T-25	T-50	T-75	T-100
L*	64,24±1,65 ^c	59,04±1,39 ^d	56,82±1,37 ^c	51,10±0,71 ^b	45,50±1,50 ^a
a*	19,50±0,38 ^b	15,92±0,69 ^a	15,94±0,80 ^a	16,03±1,93 ^a	15,20±1,39 ^a
b*	30,90±1,25 ^{ab}	22,88±2,68 ^a	31,07±1,88 ^{ab}	33,51±5,85 ^b	31,39±5,69 ^{ab}
Dur ¹	1.964,63±509,48 ^a	1.901,98±264,14 ^a	2.947,78±556,36 ^b	3698,22±370,19 ^c	4.947,98±334,02 ^d
Adh ²	-1,32±1,83 ^a	-0,43±0,79 ^a	-0,88±1,42 ^a	-0,11±0,08 ^a	-0,30±0,57 ^a
Ela ³	0,95±0,15 ^d	0,86±0,05 ^c	0,80±0,05 ^c	0,70±0,07 ^b	0,62±0,40 ^a
Coh ⁴	0,76±0,04 ^d	0,68±0,05 ^c	0,64±0,09 ^b	0,62±0,06 ^b	0,53±0,05 ^a
Gom ⁵	1.478,49±315,29 ^a	1.297,29±186,77 ^a	1.887,94±508,74 ^b	2.277,53±181,36 ^c	2.624,37±210,53 ^d
Mas ⁶	1.426,65±535,57 ^b	1.121,46±203,04 ^a	1.532,16±487,62 ^b	1.611,54±269,10 ^b	1.622,40±135,70 ^b

La presencia de diferentes letras ^{a,b,c,d,e} indica la existencia de diferencias significativas considerando $\alpha=0,05$. ¹ Dureza expresada en g. ²Adhesividad expresada en g.mm. ³Elasticidad expresada en mm.⁴Cohesividad (adimensional). ⁵ Gomosidad expresada en g. ⁶ Masticabilidad expresada en g.mm

En cuanto al análisis de color se observa que la sustitución de magro de cerdo por germen de trigo provocó una disminución significativa en la luminosidad (L*), lo que se traduce en que las salchichas fueron cada vez más oscuras, a pesar de que la luminosidad del germen de trigo (L*=74,7) fue considerablemente más elevada incluso que la elaboración control. El motivo de la disminución pudo ser debido al hecho de que a medida que aumentó el grado de sustitución cárnica, el color rosado brillante característico en productos curados que es causado por la reacción del nitrito con la mioglobina de la carne disminuyó hasta desaparecer.

Con respecto al parámetro a* la incorporación de germen provocó una disminución significativa entre la elaboración control y las elaboraciones con sustitución cárnica y pese a que entre estas elaboraciones no existieron diferencias significativas, se observó una ligera tendencia hacia valores más bajos y por tanto, tonalidades menos rojizas. Esto pudo haber sido causado tanto por la disminución de la formación de nitrosomioglobina como por la notable influencia que supone la baja tonalidad rojiza que presenta el germen de trigo (a*=0,37). En el parámetro b* la introducción del germen de trigo causó ligera disminución inicial no significativa y luego un aumento, de modo que las diferencias fueron

significativas entre los lotes con 25 % y 75 % de sustitución pero no el resto de elaboraciones y a pesar de ello, se observó una tendencia ligeramente superior al lote control. La incorporación del aceite de oliva y otros ingredientes con tonalidades amarillentas como la fécula de patata y proteína de soja influenciaron el parámetro b^* y si a ello se le suma el destacado valor que reflejó el germen de trigo ($b^*= 17,14$), explica el probable motivo por el cuál dicho parámetro tendió a aumentar.

Si se compara la evolución del color con los trabajos realizados por Kamani et al. (2019), se observan similitudes en la luminosidad (L^*) puesto que encontraron que tendió al disminuir significativamente, mientras que al Gnanasambandam y Zayas (1994) junto a Serdaroğlu y Özsümer (2003) no encontraron diferencias significativas, si bien sus valores tendieron a aumentar ligeramente. Con respecto al valor de a^* tanto los resultados de Gnanasambandam y Zayas (1994) cómo de Serdaroğlu y Özsümer (2003) mostraron al igual que en este trabajo, un ligero descenso a medida que aumentó el % de sustitución pese a no existir diferencias significativas (Serdaroğlu & Özsümer, 2003) entre las elaboraciones con menos porcentaje de germen y el control (Gnanasambandam & Zayas 1994). No obstante, Kamani et al. (2019) reflejaron un aumento sin diferencias significativas cuando se incorporó gluten y se sustituyó por completo la carne. En el valor b^* , todos los autores anteriores mostraron una tendencia al aumento significativa del valor de b^* entre el control y los tratamientos experimentales.

En cuanto a los resultados obtenidos en el análisis de textura, teniendo en cuenta que la gomosidad se calcula mediante el producto de la dureza y la cohesividad, y la masticabilidad, por el producto de las dos anteriores más la elasticidad, se observaron tendencias idénticas en la dureza y gomosidad, con un aumento significativo entre las diferentes elaboraciones con germen de trigo excepto entre la elaboración con 25 % de sustitución y la elaboración control. Por su parte, la masticabilidad tendió a aumentar significativamente con respecto a la elaboración con 25 % de germen, si bien no existieron diferencias significativas entre las elaboraciones restantes. El motivo del aumento de estos parámetros se debe probablemente al aumento del contenido de fibra con el aumento del grado de sustitución, pues García et al. (2002) junto a Viuda-Martos et al. (2010a) indicaron que la adición de fibra a salchichas y mortadela española incrementa significativamente la dureza de estos productos debido a fortalecimiento generado durante la cocción entre las partículas de fibra y las proteínas emulsionadas (Viuda-Martos et al., 2010b).

También se pudieron observar similitudes en la elasticidad y cohesividad con la introducción de germen de trigo al observarse un descenso significativo a pesar de que en esta última, no existieron diferencias significativas entre los lotes con 50 % y 75 % de sustitución cárnica y en la adhesividad, no existieron diferencias significativas y no presentó una tendencia clara. El posible motivo de las disminuciones en

estos parámetros puede ser causada por el acusado descenso del contenido de humedad que provoca la sustitución de germen de trigo (Tabla 3), que pudo provocar el aumento del desmenuzamiento de las salchichas.

Comparando la tendencia de los resultados nuevamente con los trabajos de Kamani et al. (2019) se observa al igual que en este trabajo cómo la elasticidad y cohesividad disminuyeron significativamente, mientras que por otro lado, Abd EL-Rahman (2015) encontró un aumento en estos parámetros. Sin embargo, en la gomosidad, masticabilidad y dureza existieron similitudes con los estudios de Abd EL-Rahman (2015) puesto que tendieron a aumentar, a diferencia de los resultados de Kamani et al., (2019), donde todos estos parámetros disminuyeron significativamente junto con la adhesividad. También se observaron diferencias con los trabajos de Gnanasambandam y Zayas (1994), puesto que no hallaron diferencias significativas en la cohesividad y señalaron un descenso significativo de la dureza.

Sin embargo, cuando se emplean otras fuentes de proteína vegetal para sustituir la carne como ocurre con el texturizado de guisante empleado por Revilla et al. (2022) los resultados difieren puesto que todos los parámetros de textura tienden a disminuir significativamente a excepción de la adhesividad, que aumentó sin existir diferencias significativas. Esto es probablemente causado por la menor cantidad de fibra y por tanto la menor capacidad de unión de la misma con las proteínas que presentan otras fuentes vegetales en comparación con el germen de trigo.

4.4.-Perfil de ácidos grasos

Los resultados obtenidos en la determinación del perfil de ácidos grasos se reflejan en la tabla 6.

Tabla 6. Medias (+ SD) de los ácidos grasos expresados en g por 100 g de ésteres metílicos de ácidos grasos totales.

A.g	Germen	Control	T-25	T-50	T-75	T-100
C6:0	0,35±0,14	0,04±0,05 ^a	0,01±0,01 ^a	0,04±0,03 ^a	0,02±0,02 ^a	0,02±0,00 ^a
C8:0	0,65±0,11	0,03±0,02 ^a	n.d.	n.d.	0,02±0,01 ^a	n.d.
C10:0	0,08±0,10	0,03±0,00 ^b	0,03±0,01 ^b	0,03±0,01 ^b	0,02±0,00 ^{ab}	0,01±0,00 ^a
C11:0	0,03±0,00	n.d.	n.d.	0,09±0,10 ^a	n.d.	0,01±0,02 ^a
C12:0	0,04±0,02	0,03±0,00 ^b	0,03±0,01 ^b	0,03±0,01 ^b	0,02±0,00 ^a	0,02±0,00 ^a
C13:0	0,06±0,00	0,08±0,11 ^a	0,02±0,00 ^a	0,09±0,10 ^a	0,02±0,01 ^a	0,02±0,00 ^a
C14:0	0,27±0,03	0,31±0,04 ^c	0,28±0,07 ^c	0,22±0,02 ^b	0,14±0,01 ^a	0,10±0,00 ^a
C14:1n5	0,06±0,04	0,03±0,01 ^a	0,02±0,00 ^a	0,03±0,01 ^a	0,02±0,00 ^a	0,03±0,01 ^a
C15:0	0,17±0,03	0,04±0,02 ^a	0,01±0,02 ^a	0,02±0,01 ^a	0,02±0,00 ^a	0,03±0,01 ^a

A.g	Germen	Control	T-25	T-50	T-75	T-100
C15:1	0,03±0,04	0,05±0,06 ^a	0,14±0,01 ^a	0,13±0,03 ^a	0,12±0,06 ^a	0,14±0,03 ^a
C16:0	37,69±1,84	15,39±0,33 ^a	15,87±0,49 ^a	15,55±0,46 ^a	15,08±0,23 ^a	15,40±0,29 ^a
C16:1	0,41±0,10	0,19±0,01 ^a	0,19±0,03 ^a	0,16±0,01 ^a	0,60±0,61 ^a	0,84±0,48 ^a
C17:0	0,47±0,01	1,48±0,04 ^c	1,47±0,03 ^c	1,28±0,03 ^b	0,08±0,08 ^a	0,03±0,00 ^a
C17:1	0,21±0,27	0,19±0,01 ^{ab}	0,23±0,03 ^b	0,19±0,02 ^{ab}	0,20±0,04 ^{ab}	0,16±0,01 ^a
C18:0	0,64±1,00	4,84±0,34 ^c	0,02±0,00 ^a	1,23±2,07 ^{ab}	3,30±0,12 ^{bc}	2,10±1,39 ^{ab}
C18:1n9t	0,31±0,02	0,37±0,11 ^a	0,64±0,15 ^b	0,59±0,07 ^{ab}	0,58±0,11 ^{ab}	0,55±0,05 ^{ab}
C18:1 n9c	24,08±0,39	62,22±0,35 ^{bc}	63,57±0,88 ^c	60,51±0,77 ^b	57,36±1,58 ^a	55,66±1,45 ^a
C18:2n6t	0,10±0,01	0,04±0,01 ^a	0,08±0,09 ^a	0,03±0,01 ^a	0,02±0,01 ^a	0,03±0,02 ^a
C18:2 n6	26,23±0,47	11,67±0,40 ^a	13,79±0,37 ^b	15,60±0,79 ^b	18,40±1,35 ^c	20,35±1,16 ^c
C20:0	0,39±0,31	0,43±0,01 ^a	0,43±0,01 ^a	0,43±0,01 ^a	0,42±0,03 ^a	0,41±0,01 ^a
C18:3 n6	0,36±0,05	0,05±0,01 ^a	0,08±0,09 ^a	0,03±0,01 ^a	0,02±0,01 ^a	0,03±0,02 ^a
C20:1 n9	1,24±0,94	0,04±0,01 ^a	0,05±0,01 ^a	0,07±0,04 ^a	0,05±0,01 ^a	0,05±0,01 ^a
C18:3 n3	2,27±0,07	0,71±0,01 ^a	1,08±0,03 ^b	1,46±0,09 ^c	1,96±0,19 ^d	2,30±0,15 ^e
C21:0	0,30±0,02	0,03±0,00 ^a	0,04±0,02 ^a	0,03±0,02 ^a	0,02±0,01 ^a	0,03±0,02 ^a
C20:2 n6	0,31±0,01	0,30±0,10 ^a	0,44±0,01 ^a	0,25±0,09 ^a	0,25±0,04 ^a	0,30±0,10 ^a
C22:0	0,27±0,04	0,13±0,00 ^a	0,15±0,00 ^a	0,03±0,01 ^a	0,09±0,08 ^a	0,10±0,08 ^a
C20:3 n6	0,09±0,03	0,05±0,00 ^a	0,07±0,03 ^a	0,04±0,01 ^a	0,03±0,02 ^a	0,17±0,19 ^a
C22:1 n9	0,68±0,04	0,19±0,05 ^a	0,30±0,00 ^a	0,17±0,05 ^a	0,22±0,10 ^a	0,27±0,08 ^a
C20:3 n3	0,15±0,03	0,03±0,00 ^a	0,03±0,01 ^a	0,02±0,00 ^a	0,11±0,13 ^a	0,03±0,00 ^a
C23:0	0,15±0,14	0,27±0,04 ^c	0,21±0,01 ^c	0,11±0,03 ^b	0,10±0,02 ^b	0,01±0,01 ^a
C20:4 n6	0,23±0,01	0,15±0,11 ^a	0,08±0,01 ^a	0,08±0,02 ^a	0,06±0,05 ^a	0,11±0,03 ^a
C22:2 n6	0,17±0,02	0,06±0,06 ^a	0,01±0,01 ^a	0,02±0,00 ^a	0,02±0,00 ^a	0,02±0,00 ^a
C24:0	0,33±0,18	n.d.	n.d.	0,06±0,09 ^a	0,05±0,02 ^a	0,03±0,05 ^a
C20:5 n3	0,26±0,10	0,05±0,00 ^a	0,07±0,00 ^a	0,04±0,03 ^a	0,06±0,02 ^a	0,06±0,02 ^a
C24:1 n9	0,42±0,27	0,15±0,22 ^a	0,04±0,01 ^a	0,03±0,00 ^a	0,04±0,01 ^a	0,05±0,01 ^a
C22:4 n3	0,17±0,06	0,06±0,01 ^b	0,05±0,00 ^b	0,03±0,00 ^a	0,02±0,01 ^a	0,02±0,00 ^a
C22:5 n3	0,28±0,19	0,14±0,18 ^a	0,05±0,02 ^a	0,86±1,45 ^a	0,02±0,03 ^a	0,02±0,00 ^a
C22:6 n3	0,31±0,20	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,04±0,08 ^a
A.G.S	41,85±0,83	23,06±0,42 ^b	18,59±0,54 ^a	19,16±1,46 ^a	19,35±0,54 ^a	18,27±1,51 ^a
A.G.M	28,35±0,59	63,78±0,61 ^{bc}	65,61±1,03 ^c	62,34±0,84 ^b	59,66±1,76 ^a	58,25±1,29 ^a
A.G.P	29,80±1,43	13,17±0,27 ^a	15,80±0,49 ^{ab}	18,50±1,57 ^{bc}	21,00±1,61 ^{cd}	23,48±1,47 ^e

A.g	Germen	Control	T-25	T-50	T-75	T-100
n3	2,42±1,00	0,98±0,18 ^a	1,28±0,03 ^a	2,41±1,44 ^a	2,17±0,27 ^a	2,46±0,22 ^a
n6	27,38±0,42	12,19±0,36 ^a	14,52±0,47 ^b	16,09±0,80 ^b	18,82±1,36 ^c	21,03±1,26 ^d
P/S	0,68±1,71	0,57±0,01 ^a	0,85±0,00 ^b	0,97±0,14 ^b	1,09±0,08 ^{bc}	1,30±0,19 ^c
n6/n3	7,65±0,42	12,79±2,28 ^a	11,37±0,14 ^a	8,15±3,67 ^a	8,70±0,54 ^a	8,57±0,28 ^a

La presencia de diferentes letras ^{a,b,c,d,e} indica la existencia de diferencias significativas considerando $\alpha=0,05$.

En cuanto a los ácidos grasos saturados minoritarios, es decir, aquellos que se encuentran en cantidades inferiores a 1%, se puede observar cómo para el C6:0, C8:0, C11:0, C13:0, C15:0, C20:0, C21:0, C22:0 y C24:0 la introducción de germen de trigo provocó una tendencia a disminuir ligeramente los valores pese a no existir diferencias significativas entre las distintas. Sin embargo, para el C10:0, C12:0, C14:0 y C23:0 dicha disminución fue progresiva y significativa con respecto al control para los porcentajes de sustitución más altos. Con respecto a los ácidos grasos saturados mayoritarios, el C16:0 no presentó diferencias significativas y su tendencia fue constante, por lo que el hecho de que el germen de trigo sea rico en este ácido graso (Tabla 6) no afecta significativamente a las elaboraciones con sustitución cárnica probablemente debido a que los ácidos grasos del aceite y el magro de cerdo sean los que más influyan. Por lo que se refiere a C17:0, se observó una disminución significativa a partir del 50% de sustitución y en el C18:0, sus niveles disminuyeron significativamente respecto al control pese a no existir diferencias significativas entre elaboraciones con germen, a excepción entre las elaboraciones con 25 % y 75 %.

Los ácidos grasos insaturados minoritarios C15:1 y C16:1 no presentaron diferencias significativas, aunque a pesar de mostrar una tendencia variable se incrementaron ligeramente, mientras que C22:1n9 pese a mostrar también una tendencia variable sin diferencias significativas, aumentó ligeramente. Por otro lado, C24:1n9 decreció ligeramente y tanto el C14:1n5 como el C17:1 se mantuvieron más o menos constante, pero sin mostrar apenas diferencias significativas. Cabe destacar que si bien el C20:1n9 fue un ácido graso insaturado importante en el germen (Tabla 6), no causó diferencias significativas cuando sustituyó a la carne. El ácido graso C18:1n9t ascendió significativamente pese a no existir diferencias significativas entre las entre las elaboraciones con germen de trigo. En cuanto al ácido graso monoinsaturado mayoritario, el C18:1n9c, la incorporación de germen provocó un descenso significativo pese a que, aunque el germen contiene una alta cantidad (Tabla 6), esta es menor que la de la carne de cerdo (Wood et al., 2008).

La sustitución de la carne magra por germen de trigo no provocó cambios significativos en los ácidos grasos poliinsaturados minoritarios C18:2 n6t, C18:3 n6, C20:2 n6, C20:3 n6, C22:1 n9, C20:3 n3, C20:5 n3, C20:4 n6 y C22:2 n6 y la tendencia no fue clara, mientras que en C22:4 n3 causó una disminución

significativa. Sin embargo, se observó un aumento significativo en los ácidos grasos poliinsaturados mayoritarios C18:2 n6 y C18:3 n3, que estuvo influenciado por los altos contenidos que caracterizaron al germen de trigo empleado (Tabla 6).

Analizando la tendencia del sumatorio de los diferentes grupos de ácidos grasos existentes se observó cómo los saturados y monoinsaturados se redujeron significativamente con el aumento del grado de sustitución. Si bien para los primeros no existieron diferencias entre las diferentes elaboraciones germen de trigo y en los segundos, las diferencias aparecieron a partir del 25% de sustitución con germen. Por otro lado, el total de los ácidos grasos poliinsaturados aumentó significativamente, si bien existieron diferencias, fueron significativas frente al control a partir del 50%. Estas tendencias son causadas por la mayor proporción de ácidos grasos poliinsaturados que presenta el germen de trigo frente al magro de cerdo y a la menor proporción de saturados e insaturados (Tabla 6).

En la Tabla 6 se pudo observar también que en los ácidos grasos n3 no existieron diferencias significativas si bien tendieron a aumentar ligeramente, mientras que los ácidos grasos n6 sí aumentaron significativamente como consecuencia del alto contenido de estos ácidos grasos en el germen de trigo.

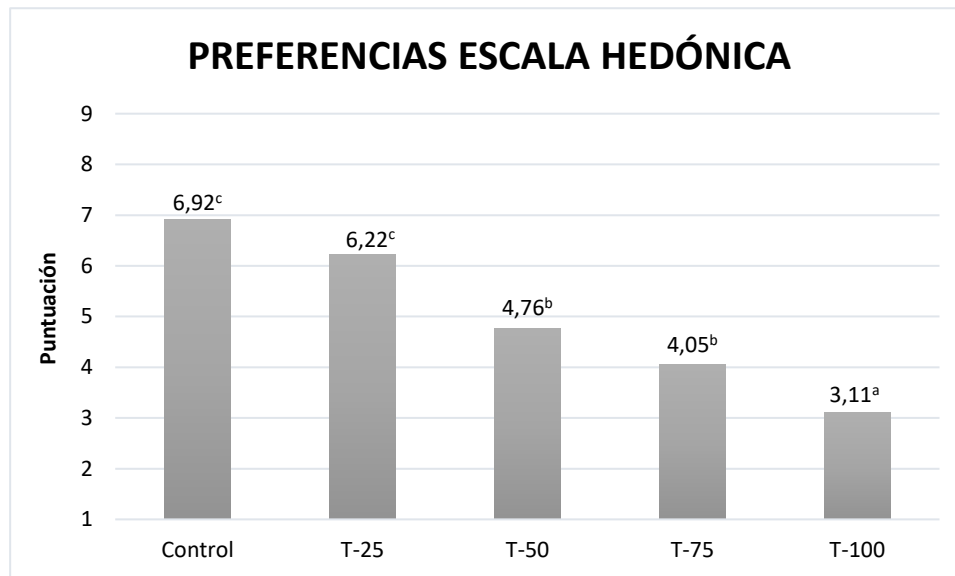
En cuanto a la relación entre ácidos grasos poliinsaturados/saturados, se observa un aumento significativo y progresivo entre el control y los diferentes lotes a medida que aumentó el % de germen. Por otra parte, la relación ácidos grasos n6/n3 no mostró diferencias significativas si bien disminuyó ligeramente. Puesto que ambas relaciones se emplean para medir la calidad nutricional de la fracción lipídica y teniendo en cuenta que la OMS (2003) recomienda una relación ácidos grasos poliinsaturados/saturados superior a 0,4 y una relación n-6/n-3 en proporción 4:1, la sustitución de magro de cerdo por germen de trigo resultó beneficiosa nutricionalmente.

Otros autores (Heikal et al., 2019; Barros et al., 2021) también mostraron cómo el empleo de germen de trigo, bien en su forma natural o en aceite, en la elaboración de hamburguesas disminuyó el contenido tanto de ácidos grasos saturados como monoinsaturados y provocó un aumento de los ácidos grasos poliinsaturados, de modo que en los estudios de Barros et al. (2021) las tendencias fueron significativas al igual que en este trabajo. En cuanto a los ácidos grasos n3 y n6 también hubo ciertas similitudes con los resultados de Barros et al. (2021) quienes señalaron que dichos grupos tendieron a aumentar significativamente. Dicho aumento de los ácidos grasos poliinsaturados tanto n3 como n6 se atribuyó a los altos contenidos en ácido linoleico C18:2 n6 y linolénico C18:3 n3, si bien éste último se detectó en bajas cantidades en las elaboraciones aquí realizadas. También se pudo observar en sus trabajos semejanzas en las relaciones n6/n3 y ácidos grasos poliinsaturados/saturados, puesto que la primera

tendió a disminuir, aunque de forma significativa, y la segunda se incrementó también significativamente.

4.5.-Análisis sensorial

Los resultados obtenidos en el análisis hedónico realizado se ven reflejados en la gráfica 1.



La presencia de diferentes letras ^{a,b,c}, indica la existencia de diferencias significativas considerando $\alpha=0,05$.

Gráfica 1. Resultados obtenidos en la escala hedónica.

La sustitución hasta un 25 % de magro de cerdo por germen de trigo no causó diferencias significativas con respecto a la elaboración sin sustitución, pues dichos lotes fueron percibidos como iguales por los panelistas y presentaron una apreciación entre “Me gusta” y “Me gusta ligeramente”. En cuanto a la sustitución en un 50 % y un 75 % de magro por germen, también provocó que las salchichas fueran percibidas como iguales entre sí y su apreciación fue entre “Ni me gusta ni me disgusta” y “Me disgusta ligeramente”. Por otra parte, la sustitución total del contenido cárnico por germen dio lugar a diferencias significativas con respecto a los otros grados de sustitución, provocando así que las salchichas fueran percibidas diferentes al resto y su grado de apreciación equivaliera a “Me disgusta”.

Estos resultados presentan similitudes con otros estudios previos, pues la incorporación de germen de trigo en sustitución de la grasa (Abd EL-Rahman., 2015) o gluten en sustitución de carne (Kamani et al., 2019) no provocó diferencias significativas con respecto al control en la aceptabilidad global de los consumidores. Por otro lado, Elbakheet et al. (2018), observó que la sustitución hasta un 15 % de carne por germen de trigo mejoró la aceptabilidad sensorial general evaluada mediante el sabor, aroma,

variación del sabor a carne, jugosidad y terneza, coincidiendo por tanto en el presente trabajo en que la sustitución en pequeñas proporciones no varía apenas la aceptabilidad con respecto al control.

5.-Conclusiones

La sustitución de magro de cerdo por germen de trigo en salchichas tipo Frankfurt produjo cambios significativos en la composición proximal, de modo que se observó un aumento en los contenidos de almidón, hidratos de carbono y fibra, así como el descenso de la proteína, grasa, humedad y ceniza. Las salchichas también fueron más amarillentas y oscuras, si bien menos rojizas, y en cuanto a la textura, eran más masticables, duras y gomosas, aunque menos elásticas y cohesivas. La incorporación de germen de trigo también mejoró la calidad del perfil lipídico y los parámetros relacionados con la estabilidad de la emulsión. Por otra parte, mientras que el análisis sensorial reveló que la aceptabilidad disminuyó significativamente cuando la sustitución superó el 25 %. Por tanto, bajo las condiciones probadas se puede concluir que se puede sustituir el contenido cárnico hasta un 25 % por germen de trigo, puesto que apenas produce cambios significativos con respecto al control. Sin embargo, conforme el grado de sustitución asciende, pese a que mejoran las características nutricionales y de la estabilidad de la emulsión, las propiedades texturales se incrementan en exceso. Por dicho motivo, se podría plantear en trabajos futuros la elaboración de salchichas vegetales combinando germen de trigo con otras proteínas de origen vegetal para lograr texturas lo más similares posibles a las de productos cárnicos cocidos-curados convencionales.

6.-Fuentes de financiación

Los estudios realizados en esta Memoria se han realizado en el marco del proyecto de investigación TRANSCOLAB PLUS (0112_TRANSCOLAB_PLUS_2_P), titulado “Laboratorio Colaborativo Transfronterizo para la transición verde del sector Agroalimentario y Agroindustrial” cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional – FEDER – a través del Programa de Cooperación INTERREG VI – A España-Portugal (POCTEP) 2021-2027

7.-Agradecimientos

Harina tradicional Zamora por suministrar el germen de trigo empleado y a Kasteel Iberoalimentaria por proporcionar los aromas utilizados.

8.-Bibliografía

Abd El-Rahman, A, M, M. Utilization of wheat germ as natural antioxidant and fat mimetic to increase shelf-life in beef sausage and as lowering cholesterol in rats. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 4(3), 555-563.

- Ahmedna, M., Prinyawiwatkul, W., & Rao, R. M. (1999). Solubilized wheat protein isolate: Functional properties and potential food applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(4), 1340-1345. <https://doi.org/10.1021/jf981098s>
- AOAC. Association of Official Analytical Chemist (1990). Official methods of análisis (15th ed). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemist.
- Barros, J. C., Munekata, P. E. S., de Carvalho, F. A. L., Domínguez, R., Trindade, M. A., Pateiro, M., & Lorenzo, J. M. (2021). Healthy beef burgers: Effect of animal fat replacement by algal and wheat germ oil emulsions. *Meat Science*, 173, 108396. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108396>
- Bhat, Z. F., Kumar, S., & Fayaz, H. (2015). In vitro meat production: Challenges and benefits over conventional meat production. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), 241-248. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60887-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60887-X)
- Bis-Souza, C. V., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., Penna, A. L. B., & Barretto, A. C. S. (2019). New strategies for the development of innovative fermented meat products: A review regarding the incorporation of probiotics and dietary fibers. *Food Reviews International*, 35(5), 467-484. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1584816>
- Bloukas, I., & Honikel, K. O. (1992). The influence of mincing and temperature of storage on the oxidation of pork back fat and its effect on water- and fat-binding in finely comminuted batters. *Meat Science*, 32(2), 215-227. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(92\)90108-G](https://doi.org/10.1016/0309-1740(92)90108-G)
- Boukid, F., Folloni, S., Ranieri, R., & Vittadini, E. (2018). A compendium of wheat germ: Separation, stabilization and food applications. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 120-133. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.06.001>
- Carvalho, F. A. L., Pateiro, M., Domínguez, R., Barba-Orellana, S., Mattar, J., Rimac Brnčić, S., Barba, F. J., & Lorenzo, J. M. (2019). Replacement of meat by spinach on physicochemical and nutritional properties of chicken burgers. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(5), e13935. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13935>
- Choton, S., Gupta, N., Bandral, J., Anjum, N., & Choudary, A. (2020). Extrusion technology and its application in food processing: A review. *The Pharma Innovation*, 9(2), 162-168. <https://doi.org/10.22271/tpi.2020.v9.i2d.4367>

- Corrêa, P. F., Silva, C. F. da, Ferreira, J. P., & Guerra, J. M. C. (2023). Vegetable-based frankfurter sausage production by different emulsion gels and assessment of physical-chemical, microbiological and nutritional properties. *Food Chemistry Advances*, 3, 100354. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100354>
- Desiere, S., Hung, Y., Verbeke, W., & D'Haese, M. (2018). Assessing current and future meat and fish consumption in Sub-Sahara Africa: Learnings from FAO Food Balance Sheets and LSMS household survey data. *Global Food Security*, 16, 116-126. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.12.004>
- Difonzo, G., Antonino, C., Squeo, G., Caponio, F., & Faccia, M. (2023). Application of agri-food by-products in cheesemaking. *Antioxidants*, 12(3), 660. <https://doi.org/10.3390/antiox12030660>
- Ekmekcioglu, C., Wallner, P., Kundi, M., Weisz, U., Haas, W., & Hutter, H.-P. (2018). Red meat, diseases, and healthy alternatives: A critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(2), 247-261. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1158148>
- Elbakheet, S. I., Elgasim, E. A., & Algadi, M. Z. (2018). Utilization of wheat germ flour in the processing of beef sausage. *Advances in Food Processing and Technology*, 2018(1). <https://doi.org/10.29011/AFPT-101.100001>
- Fadel, H. H. M., Abdel Mageed, M. A., & Lotfy, S. N. (2008). Quality and flavour stability of coffee substitute prepared by extrusion of wheat germ and chicory roots. *Amino Acids*, 34(2), 307-314. <https://doi.org/10.1007/s00726-006-0434-7>
- Flores, M., Giner, E., Fiszman, S. M., Salvador, A., & Flores, J. (2007). Effect of a new emulsifier containing sodium stearoyl-2-lactylate and carrageenan on the functionality of meat emulsion systems. *Meat Science*, 76(1), 9-18. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.06.032>
- Folch, J., Lees, M., & Sloane Stanley, G. H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *The Journal of Biological Chemistry*, 226(1), 497-509. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)64849-5)
- García, M. L., Dominguez, R., Galvez, M. D., Casas, C., & Selgas, M. D. (2002). Utilization of cereal and fruit fibres in low fat dry fermented sausages. *Meat Science*, 60(3), 227-236. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00125-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00125-5)

- García, P., Rodríguez, W., Chalarca, E., y Andrade, A., 2014. Estudio microbiológico y fisicoquímico de hongos comestibles (*pleurotus ostreatus* y *pleurotus pulmonarius*) frescos y deshidratados. *Ingeniera & Amazonia*, 7(1), 41-47.
- Ge, Y., Sun, A., Ni, Y., & Cai, T. (2000). Some nutritional and functional properties of defatted wheat germ protein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(12), 6215-6218. <https://doi.org/10.1021/jf000478m>
- Geiker, N. R. W., Bertram, H. C., Mejbörn, H., Dragsted, L. O., Kristensen, L., Carrascal, J. R., Bügel, S., & Astrup, A. (2021). Meat and human health—current knowledge and research gaps. *Foods*, 10(7), 1556. <https://doi.org/10.3390/foods10071556>
- Ghafoor, K., Özcan, M. M., AL-Juhaimi, F., Babiker, E. E., Sarker, Z. I., Ahmed, I. A. M., & Ahmed, M. A. (2017). Nutritional composition, extraction, and utilization of wheat germ oil: A review. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119(7), 1600160. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201600160>
- Gili, R. D., Palavecino, P. M., Cecilia Penci, M., Martinez, M. L., & Ribotta, P. D. (2017). Wheat germ stabilization by infrared radiation. *Journal of Food Science and Technology*, 54(1), 71-81. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2437-z>
- Gnanasambandam, R., & Zayas, J. F. (1994). Quality characteristics of meat batters and frankfurters containing wheat germ protein flour1. *Journal of Food Quality*, 17(2), 129-142. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.1994.tb00138.x>
- Godfray, H. C. J., Aveyard, P., Garnett, T., Hall, J. W., Key, T. J., Lorimer, J., Pierrehumbert, R. T., Scarborough, P., Springmann, M., & Jebb, S. A. (2018). Meat consumption, health, and the environment. *Science*, 361(6399), 5324. <https://doi.org/10.1126/science.aam5324>
- Graham, T., & Abrahamse, W. (2017). Communicating the climate impacts of meat consumption: The effect of values and message framing. *Global Environmental Change*, 44, 98-108. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.03.004>
- Güngör, E., & Gökoğlu, N. (2010). Determination of microbial contamination sources at a Frankfurter sausage processing line. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 34(1), 53-59. <https://doi.org/10.3906/vet-0805-28>

- Hedenus, F., Wirsenius, S., & Johansson, D. J. A. (2014). The importance of reduced meat and dairy consumption for meeting stringent climate change targets. *Climatic Change*, *124*(1), 79-91. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1104-5>
- Heikal, Z. M. A., Youssef, M. K. E., Khalifa, A. H., Limam, S. A., & Mostafa, B. M. D. (2019). Improving the quality properties of chicken burger. *Journal of Food and Dairy Sciences*, *10*(6), 195-200. <https://doi.org/10.21608/jfds.2019.48285>
- Hidayat, B. T., Wea, A., & Andriati, N. (2017). Physicochemical, sensory attributes and protein profile by SDS-PAGE of beef sausage substituted with texturized vegetable protein. *Food Research*, *2*(1), 20-31. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.2\(1\).106](https://doi.org/10.26656/fr.2017.2(1).106)
- Hughes, E., Cofrades, S., & Troy, D. J. (1997). Effects of fat level, oat fibre and carrageenan on frankfurters formulated with 5, 12 and 30% fat. *Meat Science*, *45*(3), 273-281.
- Van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, *58*(1), 563-583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>
- Isaza M, Y. L., Restrepo M, D. A., López V, J. H., Ochoa G, O. A., & Cabrera T, K. R. (2011). Evolution of the antioxidant capacity of frankfurter sausage model systems with added cherry extract (*prunus avium l.*) during refrigerated storage. *Vitae*, *18*(3), 251-260.
- Kamani, M. H., Meera, M. S., Bhaskar, N., & Modi, V. K. (2019). Partial and total replacement of meat by plant-based proteins in chicken sausage: Evaluation of mechanical, physico-chemical and sensory characteristics. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(5), 2660-2669. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03754-1>
- Khan, B. A., Nadeem, M. A., Nawaz, H., Amin, M. M., Abbasi, G. H., Nadeem, M., Ali, M., Ameen, M., Javaid, M. M., Maqbool, R., Ikram, M., & Ayub, M. A. (2023). Pesticides: Impacts on agriculture productivity, environment, and management strategies. En T. Aftab (Ed.), *Emerging contaminants and plants: interactions, adaptations and remediation technologies* (pp. 109-134). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22269-6_5
- Lee, H.-J., Jung, E.-H., Lee, S.-H., Kim, J.-H., Lee, J.-J., & Choi, Y.-I. (2015). Effect of replacing pork fat with vegetable oils on quality properties of emulsion-type pork sausages. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, *35*(1), 130-136. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2015.35.1.130>

- Liu, K. S., & Hsieh, F.-H. (2007). Protein–protein interactions in high moisture-extruded meat analogs and heat-induced soy protein gels. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, *84*(8), 741-748. <https://doi.org/10.1007/s11746-007-1095-8>
- Liu, X., Chi, C., Zhou, S., & Jiang, Y. (2024). Comparison of wheat germ and oil characteristics and stability by different stabilization techniques. *LWT*, *191*, 115664. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115664>
- Marçal, C., Pinto, C. A., Silva, A. M. S., Monteiro, C., Saraiva, J. A., & Cardoso, S. M. (2021). Macroalgae-fortified sausages: nutritional and quality aspects influenced by non-thermal high-pressure processing. *Foods*, *10*(2), 209. <https://doi.org/10.3390/foods10020209>
- Marti-Quijal, F. J., Zamuz, S., Tomašević, I., Rocchetti, G., Lucini, L., Marszałek, K., Barba, F. J., & Lorenzo, J. M. (2019). A chemometric approach to evaluate the impact of pulses, Chlorella and Spirulina on proximate composition, amino acid, and physicochemical properties of turkey burgers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *99*(7), 3672-3680. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9595>
- Mekonnen, M. M., & Gerbens-Leenes, W. (2020). The water footprint of global food production. *Water*, *12*(10), 2696. <https://doi.org/10.3390/w12102696>
- Mueller, T., & Voigt, W. (2011). Fermented wheat germ extract—nutritional supplement or anticancer drug? *Nutrition Journal*, *10*, 1-6. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-10-89>
- OMS. Organización Mundial de la Salud (2003). Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. WHO Technical Report Series, 916
- Parlasca, M. C., & Qaim, M. (2022). Meat consumption and sustainability. *annual review of resource economics*, *14*(1), 17-41. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-111820-032340>
- Petrović, J., Rakić, D., Fištes, A., Pajin, B., Lončarević, I., Tomovic, V., & Zarić, D. (2017). Defatted wheat germ application: Influence on cookies' properties with regard to its particle size and dough moisture content. *Food Science and Technology International*, *23*(7), 597-607.
- Petrusán, J.-I., Rawel, H., & Huschek, G. (2016). Protein-rich vegetal sources and trends in human nutrition: A review. *Current Topics in Peptide and Protein Research*, *17*, 1 -19.
- Polizer Rocha, Y. J., Lapa-Guimarães, J., de Noronha, R. L. F., & Trindade, M. A. (2018). Evaluation of consumers' perception regarding frankfurter sausages with different healthiness attributes. *Journal of Sensory Studies*, *33*(6), e12468. <https://doi.org/10.1111/joss.12468>

- Rațu, R. N., Veleșcu, I. D., Stoica, F., Usturoi, A., Arsenoiaia, V. N., Crivei, I. C., Postolache, A. N., Lipșa, F. D., Filipov, F., Florea, A. M., Chițea, M. A., & Brumă, I. S. (2023). Application of Agri-food by-products in the food industry. *Agriculture*, *13*(8), 1559. <https://doi.org/10.3390/agriculture13081559>
- Reis, G. G., Heidemann, M. S., Borini, F. M., & Molento, C. F. M. (2020). Livestock value chain in transition: Cultivated (cell-based) meat and the need for breakthrough capabilities. *Technology in Society*, *62*, 101286. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101286>
- Revilla, I., Santos, S., Hernández-Jiménez, M., & Vivar-Quintana, A. M. (2022). The effects of the progressive replacement of meat with texturized pea protein in low-fat frankfurters made with olive oil. *Foods*, *11*(7), 923. <https://doi.org/10.3390/foods11070923>
- Robertson, A. R. (1997). The CIE 1976 color-difference formulae. *Color Research & Application*, *2*(1) 7-11. <https://doi.org/10.1002/j.1520-6378.1977.tb00104.x>
- Serdaroğlu, M., & Özsümer, M. S. (2003). Effects of soy protein, whey powder and wheat gluten on quality characteristics of cooked beef sausages formulated with 5, 10 and 20% fat. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, *6*(2), 3. <http://www.ejpau.media.pl/articles/volume6/issue2/food/art-03.pdf>
- Shewry, P. R. (2009). The HEALTHGRAIN programme opens new opportunities for improving wheat for nutrition and health. *Nutrition Bulletin*, *34*(2), 225-231. <https://doi.org/10.1111/j.1467-3010.2009.01747.x>
- Shewry, P. R., & Jones, H. D. (2005). Transgenic wheat: Where do we stand after the first 12 years? *Annals of Applied Biology*, *147*(1), 1-14. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2005.00009.x>
- Shewry, P. R., Powers, S., Field, J. M., Fido, R. J., Jones, H. D., Arnold, G. M., West, J., Lazzeri, P. A., Barcelo, P., Barro, F., Tatham, A. S., Bekes, F., Butow, B., & Darlington, H. (2006). Comparative field performance over 3 years and two sites of transgenic wheat lines expressing HMW subunit transgenes. *Theoretical and Applied Genetics*, *113*(1), 128-136. <https://doi.org/10.1007/s00122-006-0279-1>
- Thushan Sanjeewa, W. G., Wanasundara, J. P. D., Pietrasik, Z., & Shand, P. J. (2010). Characterization of chickpea (*Cicer arietinum* L.) flours and application in low-fat pork bologna as a model system. *Food Research International*, *43*(2), 617-626. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.024>

- Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Fernández-López, J., & Pérez-Álvarez, J. A. (2010a). Effect of added citrus fibre and spice essential oils on quality characteristics and shelf-life of mortadella. *Meat Science*, 85(3), 568-576. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.03.007>
- Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Fernández-López, J., & Pérez-Álvarez, J. A. (2010b). Effect of orange dietary fibre, oregano essential oil and packaging conditions on shelf-life of bologna sausages. *Food Control*, 21(4), 436-443. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2009.07.004>
- Wood, J. D., Enser, M., Fisher, A. V., Nute, G. R., Sheard, P. R., Richardson, R. I., Hughes, S. I., & Whittington, F. M. (2008). Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*, 78(4), 343-358. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.019>
- Youssef, H. M. K. E. (2015). Assessment of gross chemical composition, mineral composition, vitamin composition and amino acids composition of wheat biscuits and wheat germ fortified biscuits. *Food and Nutrition Sciences*, 6(10), 845-853. <https://doi.org/10.4236/fns.2015.610088>
- Zamuz, S., Purriños, L., Galvez, F., Zdolec, N., Muchenje, V., Barba, F. J., & Lorenzo, J. M. (2019). Influence of the addition of different origin sources of protein on meat products sensory acceptance. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(5), e13940. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13940>